技術レター

先端加工技術に関する調査研究

須藤　貴裕*，田村　信*，山田　敏浩**，石井　啓貴***，宮口　孝司****

A Research of Advanced Machining Technology

SUTOH Takahiro *, TAMURA Makoto*,YAMADA Toshihiro**, ISHII Hirotaka ***and MIYAGUCHI Takashi****

1. 緒　　言

近年，機械加工は短納期化や加工物の複雑形状化の要求により，さらなる高速・高効率・高精度加工が求められている。これら要求を満たすためには，主軸の高速高剛性化，テーブルの高速移動，精密位置決めなどのほか，ワンチャック加工を実現する多軸化や複合化が必要となる。

本調査研究では，高速主軸やリニアモータの搭載といった工作機械関連の技術動向について調査したほか，県内企業における多軸加工機および複合加工機などの導入状況について調査した。また，先端の切削技術として航空機分野などで使用されるチタン合金や超耐熱合金，複合材料などの難削材の加工技術動向についても調査した。

2. 調査内容

2.1 工作機械関連の技術動向

おもに展示会・セミナーなどを中心に調査を行った。工作機械メーカーは国内外を問わず多軸化・複合化が進んでいる。高速主軸やリニアモータを搭載した多軸加工機，ダイレクトドライブ方式の旋回テーブルを搭載しターニング機能を付加したマシニングセンタも実用化されており，高速・高効率・高精度加工が注目されている。

送り軸にリニアモータを搭載した工作機械の例を図 1[1)]に示す。（株）松浦機械製作所製で早送り 90m/min, 最大加速度 1.5G を実現している。

また，要素部品としても，ファナック（株）製で最高速度 240m/min，最高加速度 30G を実現しているリニアモータがあるなど，超高速送り機構としての利用が期待できる。各社リニアモータのスペックを表 1[2), 3), 4), 5), 6), 7), 8)]に示す。

主軸については，ドイツやスイスといった海外メーカーで高速なものが多く, 毎分 10 万回転を超えるものでも転がり軸受のものが主流となっている。ドイツの GMN 社では小径ではあるが, 毎分 25 万回転にもおよぶ超高速主軸を開発している。また，主に切削に使用される比較的軸径の太いものでも毎分 10 万回転を超える転がり軸受けの高速主軸が開発されており，現在よりも一歩進んだ超高速切削技術開発が期待できる。

図 1　リニアモータ搭載の工作機械例 [1)]
（（株）松浦機械製作所製　LX-1）

* 研究開発センター
** 中越技術支援センター
*** 企画管理室
**** 研究開発センター
レーザーナノテク研究室

表 1　各社リニアモータスペック一覧 [2), 3), 4), 5), 6), 7), 8)]

メーカーおよびシリーズ名	最大加速度	最高速度
FANUC　LINEAR MOTER LiSシリーズ	30G	4m/s(240m/min)
ジイエムシーヒルストン　シャフトモータ	20G	6.3m/s(378m/min)
安川電機　Σ-trac-MAGシリーズ	20G	3m/s(180m/min)
THK　リニアモータアクチュエーター　RDM-MINI	9G	5m/s(300m/min)
テクノハンズ　SGLシリーズ	8G	5m/s(300m/min)
YAMAHA MFタイプ	3G	2.5m/s(150m/min)
テクノハンズ　薄型VCM型Xステージ	—	14m/s(840m/min)

2.2　多軸・複合加工における CAM 技術動向

多軸・複合加工機は従来の 3 軸加工と比較し高度な技術を必要とする。そのひとつで最も重要な技術要素に CAM がある。3 軸加工における CAM では，主軸回転数，送り速度，切り込み量などのパラメータを設定すれば，比較的簡単にツールパスが作成できる。また，3 軸加工では通常，工具およびホルダとワークの干渉チェックを行えばよい。

しかし，多軸・複合加工の場合では，3 軸加工のパラメータに加えて工具姿勢の設定など多くのパラメータを設定する必要があるほか，旋回軸を有するため，形状によっては旋回軸が思わぬ方向に急旋回することもあり，マシンとワークなどの干渉チェックも厳密に行う必要がある。近年，CAM 上でも干渉チェックを行えるようになったほか，干渉チェックを主な目的としたシミュレーションソフトも数多く市販されており，精度良く干渉チェックが行えるようになってきた。しかし，シミュレーションで干渉することがわかったとしても，干渉せず，かつ，取り残しのないツールパスに修正するのは CAM ユーザーの技量によるところが大きく，ノウハウが必要な部分となる。

2.3　難削材加工の技術動向

代表的な難削材であるインコネルの切削加工においては，従来，切削速度を極めて低速にして加工するのが一般的であったが，近年切削工具が進歩し，高切削速度でも切削加工が行えるようになってきた。その一例にセラミック製工具があげられる。超硬工具による旋削加工では従来切削速度は 30m/min 程度であったが，セラミック製工具の KENNAMETAL 製 KY1540 では切削速度 300m/min にも及ぶ高速加工が推奨切削条件 [9)]に含まれている。またエンドミルなどを使用したミリング加工では，1220m/min まで推奨切削条件 [10)]になっているなど工具の発展は目覚ましいものがある。一方，加工方法に目を向けると旋削加工において，ロータリ切削加工などの技術が研究 [11)]されており，超硬工具による旋削加工でも切削速度 500m/min でのドライ加工の事例が報告されている。

表 2　航空機の構造部材構成割合 [12)]

材料名	構成割合	
	ボーイング787	ボーイング777
複合材（CFRPなど）	50%	11%
アルミニウム合金	20%	70%
チタン合金	15%	7%
鋼	10%	11%
その他	5%	1%

そのほか切削加工技術の動向が注目されている難削材では，航空機分野への適用が急速に進んでいる炭素繊維強化エポキシ樹脂（以下，CFRP という）などの複合材料がある。表 2 にボーイング 787 および 777 の構造材料の構成割合 [12)]を示す。現状では，切削技術が確立されておらず，穴あけ加工などの比較的単純な加工に留まっており，切削加工技術の開発が求められている。その一例として，超音波振動切削による高精度穴あけ加工 [13)]などが試みられている。切削初期は比較的切削可能であるが，切削が進むにつれ被削材に毛羽立ちが発生し，加工面性

状が悪化する。これは，CFRP を構成する炭素繊維とエポキシ樹脂の熱伝導率の違いに起因していると考えられる。つまり，摩擦により発生した熱が熱伝導率の良い炭素繊維に沿って伝わり，周辺のエポキシ樹脂が脆化して剥離し，毛羽立ちが発生する。超音波振動切削では瞬時に切削，離れを繰り返し摩擦熱の発生を抑制することを目的としている。

2.4　新潟県内企業の動向

近年，県内の企業においても数多くの企業で多軸加工機の導入が進んできており，全国的にみてもハイレベルな多軸加工を行っている企業もある。

高度な多軸・複合加工を行っている企業では航空宇宙医療産業など分野の加工を行っている場合が多い。航空宇宙医療産業分野では多軸・複合加工はもちろんのこと，難削材であるチタン合金やインコネルなどの耐熱合金が多用されており，そうした難削材加工においても高度な加工技術蓄積がある。CAD/CAM ソフトについても数種類のソフトを所有しており，客先から提供される様々な CAD 形式に対応するほか，それぞれの特徴を生かし使い分けしている。また，シミュレーションソフトで十分に干渉チェックを行い加工しているほか，加工物の加工精度予測なども行っている。

こうした企業では他社との差別化のために，加工時間の短縮などさらなる高効率切削加工技術の開発が求められているほか，CFRP などの複合材料においても，前述のとおり航空部品などで加工ニーズがあり，切削加工技術の開発が求められている。

また，その他の企業でも多軸加工機をすでに導入し，これからノウハウを蓄積して多軸加工に取り組もうとする企業も数多く見受けられる。

このような企業が技術者を育成しノウハウを蓄積することで，多くの県内企業で多軸・複合加工技術が習得されれば，県内加工業の高付加価値化が期待できる。

2.5　技術セミナー

主に県内企業を対象とした技術セミナーを開催した。セミナー時の写真を図2に，開催したセミナーの一覧を表3に示す。参加者数は2回のセミナーで130余名にのぼり，先端の切削加工技術に対する県内企業の関心の高さがうかがえる。図3にセミナー時のアンケート結果を示す。

図 2　技術セミナーの様子

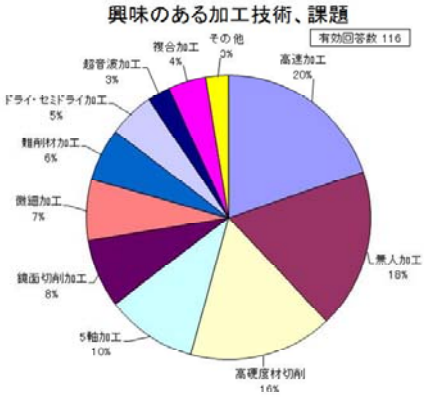


図 3　アンケート結果

3.　新事業創出の可能性

3.1　新潟県内の先進技術の有無

県内における先進技術の有無を表4に示す。表中の県内レベルとは全国技術レベルと県内技術レベルを比較した場合の優劣を示した。リニアモータや複合材料加工を除いた分野では県内に先進企業が存在し，ボールネジ、スライド部品や高硬度材加工においては，県内技術レベルも

表３　開催したセミナー

No	技術セミナーおよび講師	日　時	参加者数
1	cBN加工の実体験と先進技術セミナー ・（独）理化学研究所　安斎　正博氏 ・（株）松岡技術研究所　松岡　甫篁氏 ・住友電工ハードメタル（株）上坂　伸哉氏	H19.9.14　13時～17時	約65名
2	5軸加工と複合加工技術セミナー ・日本ディエムジー（株）細田　陽一郎氏 ・ヤマザキマザック（株）山本　博雅氏 ・ヤマザキマザック（株）木方　一博氏	H20.1.31　13時30分～17時	約70名

表４　県内における先進技術の有無

技　術　項　目			県内レベル
要素部品		ボールネジ，スライド部品	○
		リニアモータ	×
		主　軸	△
加工	技術	多軸・複合加工	×
		高速加工	△
		CAD/CAM	×
	材料	チタン合金	△
		耐熱合金	×
		高硬度材	○
		複合材料	×

全国レベルに達していると思われる。しかし，そのほかの分野については，全国レベルと比較して決して高いレベルとは言えない。県内企業が他県やアジア諸国をはじめとする諸外国との差別化を計るためには，多軸・複合加工や難削材加工，高度CAD/CAM技術を習得し，航空機や医療産業などの高付加価値加工分野へ進出するほか，高効率・高精度・高品位なものづくりを行う必要がある。

3.2　提　案

前述のとおり，県内企業が他県やアジア諸国をはじめとする諸外国との差別化を計るためには，技術者を育成し，多軸・複合加工技術や難削材などの高精度・高効率加工技術の向上とCAD/CAM技術の向上が必要である。そうした観点から難削材や複雑形状に対応する多軸・複合加工技術の開発を提案する。具体的な提案内容を図4および図5に示す。

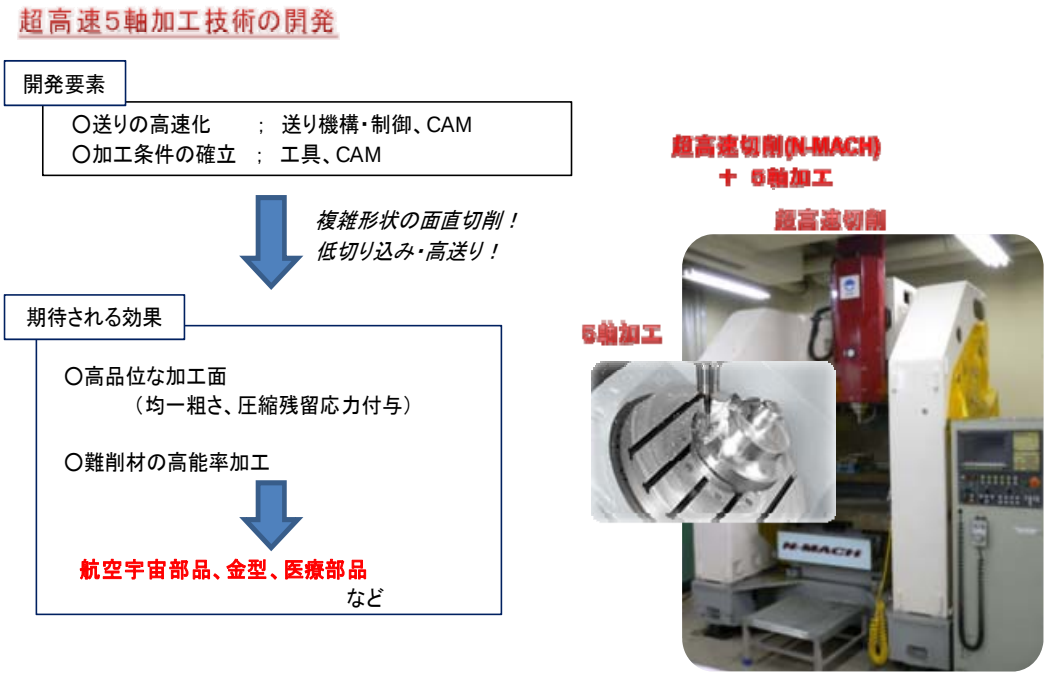
3.2.1　超高速5軸加工技術の開発

図4は新潟県工業技術総合研究所が開発した切削加工技術（N-MACH加工）を5軸加工に応用したもので複雑な形状加工において，工具姿勢を面直に保って加工する。加工面に対して常に工具姿勢が一定となるため，均一な加工面が創成でき磨き工程の短縮が期待できるほか，表面に圧縮残留応力を付与することで金型寿命の向上などが期待できる。また，チタン合金やインコネルなどの耐熱合金にN-MACH加工を適用することで，高効率な切削加工が期待できる。さらに，N-MACH加工は高速エアスピンドルを用いており瞬時に材料を切削するという特徴を有することから，摩擦熱発生の低減が期待できる。さらに，超低温気体ブローと組み合わせることにより課題となっているCFRPなどの複合材の切削加工技術開発も期待できる。このN-MACH加工を5軸加工に応用するためには，送り速度の高速化技術開発が必要となるほか，CAMや加工シミュレーション技術の向上が鍵を握る。

3.2.2　超高速非円形加工機の開発

図5は複合加工機の割り出し加工などで加工され，通常長時間におよぶ切削加工が必要とされる非円形状のワークを短時間に切削する加工機である。刃物台をリニアモータにより瞬時に加速および減速し，ワークの回転角と刃物台を超高速同期制御することで大幅な加工時間短縮など超高効率な非円形状加工を実現する。また，通常旋削加工で使用されるバイトの代わりに高速スピンドルを使用することで，旋削加工で問題となる切りくず処理や工具寿命の向上が期待できる。この加工機を実現するためには，オープンモーションコントローラなどによる超高速同期制御技術の開発が必要となるほか，刃物台

が瞬時に加速および減速するため，加速および減速時のイナーシャキャンセル機構の開発も必要となる。こうした超高速同期制御技術は工作機械への適用はもとより，産業機械分野への技術の応用が期待できる。



N-MACH；　新潟県工業技術が開発した切削加工技術。
エアスピンドルによる工具の高速回転(max50,000min-1)と
低切り込み・高送り条件により金型の直彫り加工を実現。

図 4　超高速 5 軸加工技術開発

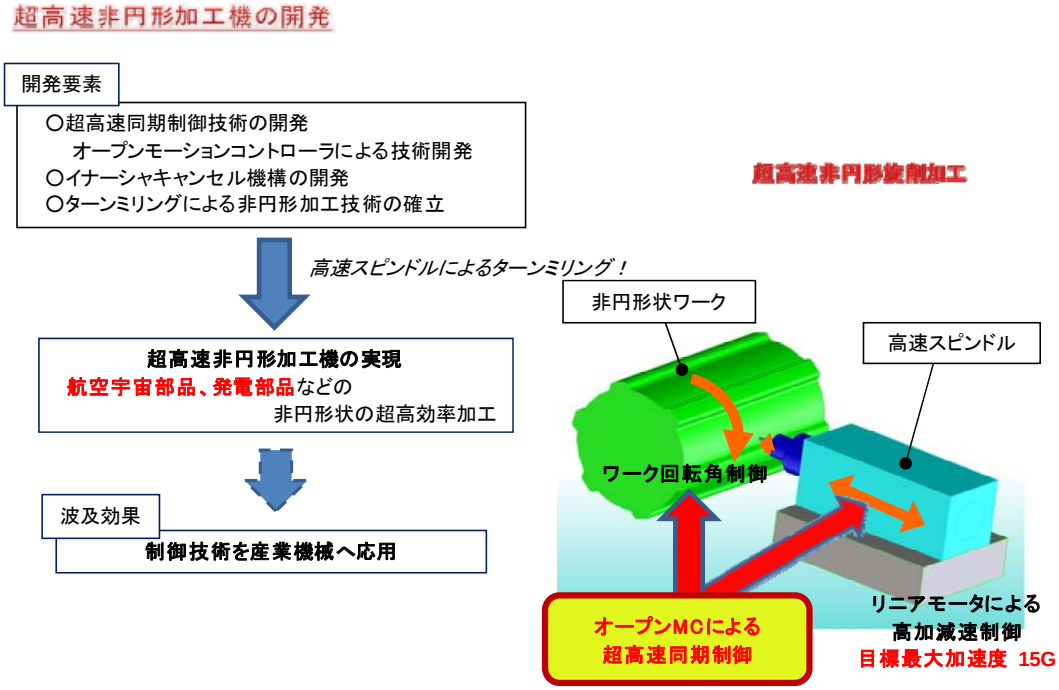


図 5　超高速非円形加工機の開発

5. 結　　言

(1) 工作機械関連の技術動向を調査した結果，リニアモータ駆動やダイレクトドライブ方式の旋回テーブルを搭載しターニング機能を付加したマシニングセンタなど，多軸・複合・高速・高効率加工が注目されている。

(2) リニアモータでは現在，最高速度 240m/min，最高加速度 30G のものが実用化されているなど，工作機械の超高速送り機構としての利用が期待できる。

(3) 多軸・複合加工においては CAD/CAM や加工シミュレーション技術が重要な要素となっており，ノウハウの蓄積が必要である。

(4) 難削材加工では工具の進歩により，インコネルなどの耐熱合金でも高速加工が可能となってきた。また，CFRP などの複合材料の切削加工技術開発が注目されている。

(5) 県内企業においては，多軸・複合加工機の導入が進みつつあるが，一部の企業を除いては，今後技術者の育成などノウハウ蓄積が必要である。

参考文献

1) 株式会社松浦製作所，“製品紹介　超高速高精度立型リニアモータマシンLX　Series”，株式会社　松浦機械製作所ホームページ，http://www.matsuura.co.jp/japan/mc/lx_series.shtm，（平成20年3月10日閲覧）

2) ファナック株式会社，“製品案内　サーボモータ”，ファナック株式会社ホームページ，http://www.fanuc.co.jp/ja/product/servo/linear/index.html，（平成20年3月10日閲覧）

3) 株式会社ジイエムシーヒルストン，“製品紹介　シャフトモータ”，株式会社ジイエムシーヒルストンホームページ，http://www.ghc.co.jp/product/shaft.html，（平成20年3月10日閲覧）

4) 株式会社安川電機，“製品情報　リニアサーボドライブ”，株式会社安川電機ホームページ，http://www.e-mechatronics.com/support/catalog/servo/kajps80000026c_3_0/data/kajps80000026c_3_0-08.pdf，（平成20年3月10日閲覧）

5) THK株式会社，“製品情報　アクチュエータ･ユニット”，THK株式会社ホームページ，http://www.thk.com/jp/products/class/linearactuator/index.html，（平成20年3月10日閲覧）

6) テクノハンズ株式会社，“製品案内　リニアモータ”，テクノハンズ株式会社ホームページ，http://www.technohands.co.jp/products/lm-stage.html，（平成20年3月10日閲覧）

7) ヤマハ発動機株式会社，“製品一覧　産業用ロボット”，ヤマハ発動機株式会社ホームページ，http://www.yamaha-motor.co.jp/product/robot/phaser/feature_mf/index.html

8) テクノハンズ株式会社，“製品案内　ボイスコイルモータ”，テクノハンズ株式会社ホームページ，http://www.technohands.co.jp/products/vcm-x-thin.html，（平成20年3月10日閲覧）

9) KENNAMETAL，“KENNAMETALカタログ KMTL-High-Temp-Alloy-Turning-Guide”，p9

10) KENNAMETAL，“KENNAMETALカタログ KMTL-High-performance-Milling-Cutters FOR HIGH-TEMP ALLOYS AND STAINLESS STEELS”，p5

11) 中島宏他，“複合加工旋盤におけるロータリ工具の加工特性（第二報）”，2007 年度精密工学会秋季大会学術講演会講演論文集，2007，p641-642

12) 財団法人日本航空機開発協会，“平成 15 年度民間航空機および関連産業に関する調査研究”，2004，p66

13) 柳下福蔵，“複合材料（CFRP）の穴あけ加工技術”，機械と工具 2007 年 6 月号，2007，p24-28